

長距離送電線における直列コンデンサの定態運転特性(第2報) : 数値例による結果とその考察

その他(別言語等)のタイトル	Steady Operation Characteristics of Series Capacitors in Long-distance Transmission Lines. (Part 2) : Consideration on Results of Numerical Calculation
著者	三浦 五郎, 伊達 隆三
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	2
号	3
ページ	595-607
発行年	1957-12-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3092

長距離送電線における直列コンデンサ の定態運転特性 (第2報)

数値例による結果とその考察

三浦五郎・伊達隆三

Steady Operation Characteristics of Series Capacitors in Long-distance Transmssion Lines. (Part II) Consideration on Results of Numerical Calculation

Goro Miura and Ryuzo Date

Abstract

The authors extended and developed Mr. A. A. Johnson's and the others' papers, treated steady operations of compensated transmission systems, and studied mainly the effect of the position of capacitors. We have had a lot of influence on sending and receiving end powers, power-factors, loss and efficiencies, line-to-line voltage distribution and steady state stabilities.

A line 400 km long is analyzed here as a numerical example, the method of which can be easily applied for the other lines of any length in the same way. The results show that the most suitable position of capacitors is approximately between 0.6 and 1.0 of the line length, when measured from the sending end. In this paper, discussions are also made on decreasing calculation labors of the sending 4 constants by using suitable approximation formulae.

I. 緒 言

前報¹⁾においては、コンデンサ電力系統の運転特性に関する簡便な一解析法を提示したが、本稿はこの問題にさらに検討を加え、数値例を挙げて比較的長距離の送電線におけるコンデンサ補償位置の影響を考察し、あわせて一般的な運転傾向を調べたものである。本稿には Povejsil 氏²⁾等によつて提唱されたサージ・インピーダンスを単位とする近似法を採用したもので、パラメータは線路長だけを考慮してよく、電圧および線路リアクタンスは任意の値で

1) 三浦五郎：長距離送電線における直列コンデンサの定態運転特性。(第1報)，室工大研報，2，No. 1，1 (1955)。

2) D. J. Povejsil & A. A. Johnson：A Per-unit Interpretation of Transmission Line Constants, T. A. I. E. E. 70, 194 (1951)。

かまわない。ここで扱った 400 km 以外の任意長の線路についても、同様の取り扱いによつて計算ができるので便利である。なお定電圧送電方式の系統を考え、送受電両端間の電圧相差角を考慮にとることにして、負荷インピーダンスの影響は取り除いておく。

II. 送電定数の扱い

サージ・インピーダンス負荷を基準 KVA にとり、変圧器高压側の受電端電圧を基準 KV にとる時は、特性インピーダンスが基準インピーダンスとなる。

さてリアクタンス $-jx_c$ なる直列コンデンサを、全長 l (km) 線路の送電端より ml (km) の位置に設置する場合の、送電 4 定数はすでに第 1 報に示すとおり

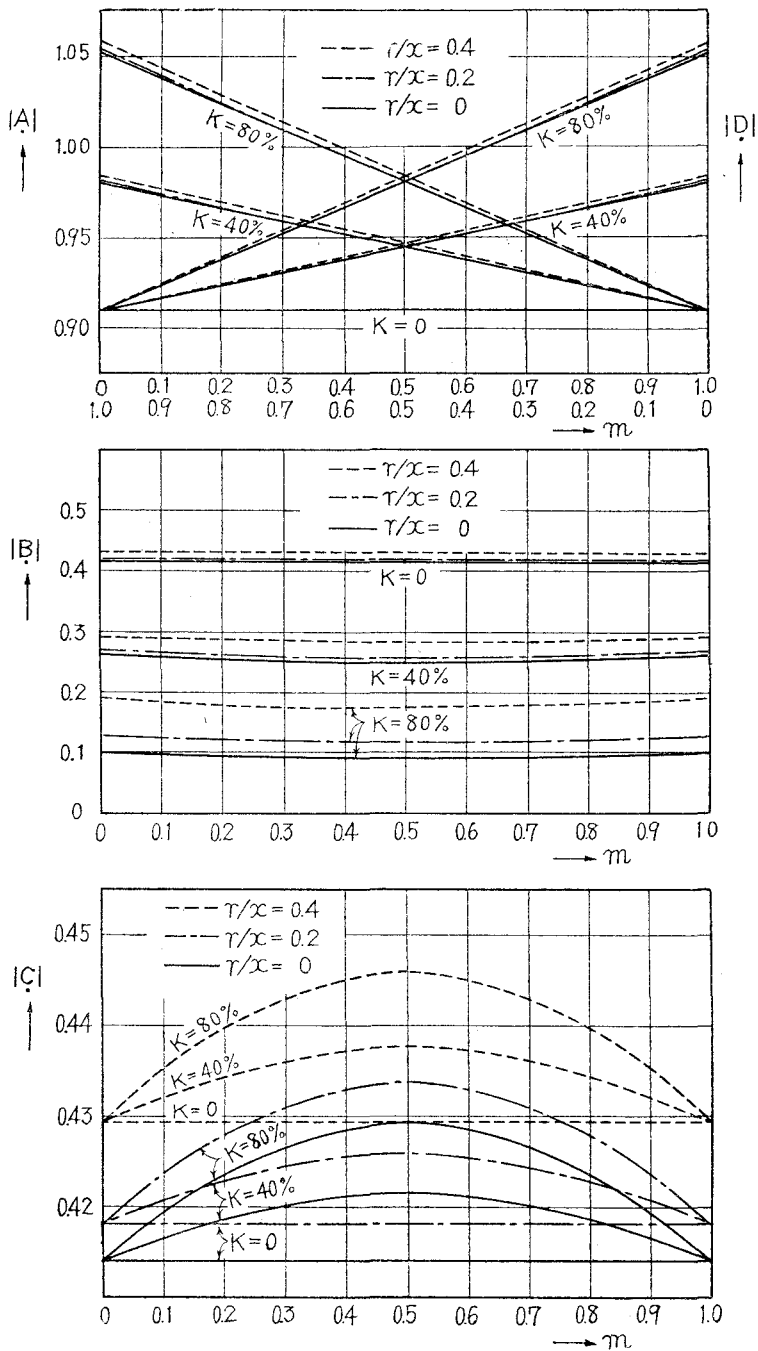
$$\left. \begin{aligned} \dot{A} &= \dot{A}_0 - jx_c \dot{A}_1 \dot{C}_2 \\ \dot{B} &= \dot{B}_0 - jx_c \dot{A}_1 \dot{D}_2 \\ \dot{C} &= \dot{C}_0 - jx_c \dot{C}_1 \dot{C}_2 \\ \dot{D} &= \dot{D}_0 - jx_c \dot{C}_1 \dot{D}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

である。 $\dot{A}_1, \dot{B}_1, \dot{C}_1, \dot{D}_1$ および $\dot{A}_2, \dot{B}_2, \dot{C}_2, \dot{D}_2$ は、補償位置よりそれぞれ送電端側および受電端側の線路定数を示し、また $\dot{A}_0, \dot{B}_0, \dot{C}_0, \dot{D}_0$ は無補償時のそれを表わす。上式の計算は与えられた線長 l , および r/x に対して補償点 m , ならびに補償度 K の種々な値に対して行なつておく必要がある。これは電力円線図の作図上止むを得ない道程で、ここを簡略化する適当な方法がない。

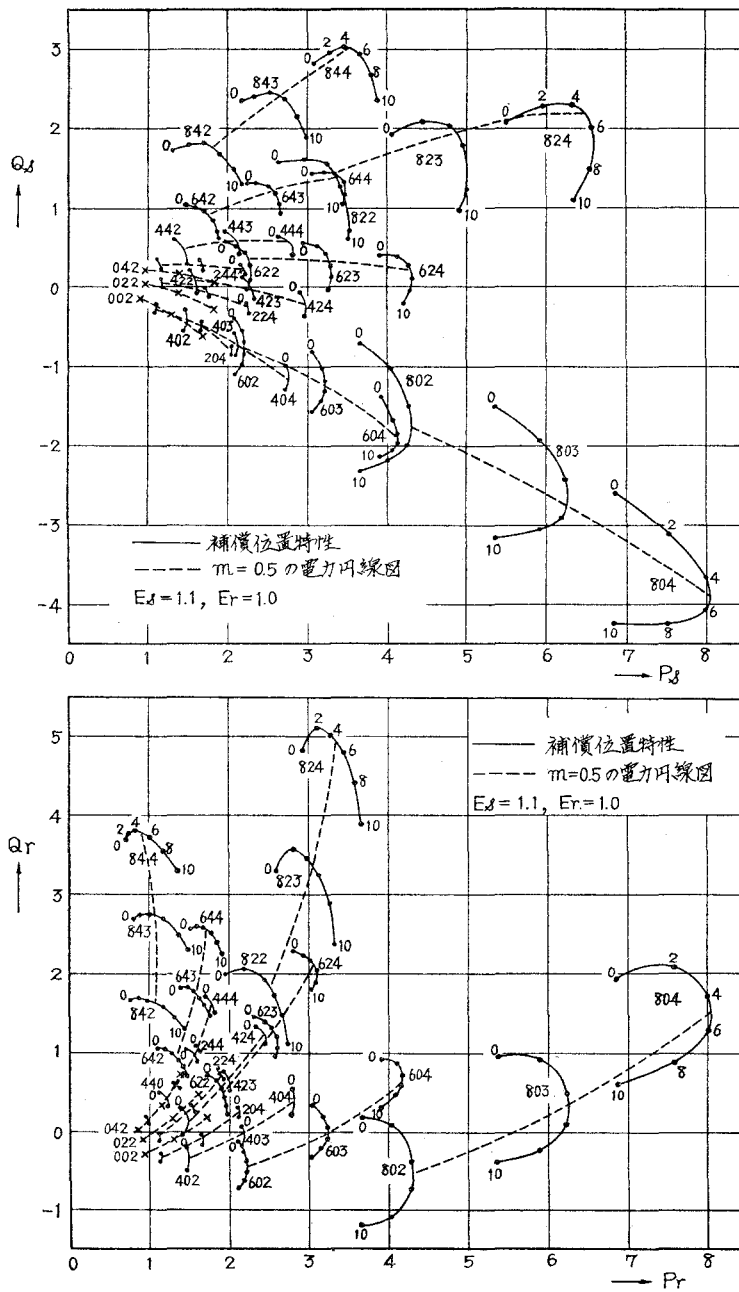
第 1 図は $l=400$ km の送電線に $K=0$ より $K=80\%$ まで補償を変化した場合の、補償位置に対する 4 定数の絶対値を $r/x=0, 0.2, 0.4$ の場合について画いたものである。一般に r/x の影響は高補償時ほど大きく、ことに B の値が顕著である。そしてここでは複素数の絶対値のみを示したが、微角もまた r/x の影響を受け、やはり B の微角の値が補償につれて 90° から大幅に減少し、他の定数ではこの変化は微小であることがわかつた。一例として本例の 40% 中央点補償時において、 $r/x=0$ に対する $r/x=0.4$ の絶対値の誤差および微角を示すとつぎのごとくなる。

定 数	絶対値誤差 (%)	$r/x=0.4$ における微角
\dot{A}, \dot{D}	0.17	$\alpha = \delta = 2^\circ 10'*$
\dot{B}	12	$\beta = 56^\circ 30'$
\dot{C}	3.6	$\gamma = 90^\circ 40'$

* α, β, γ および δ は 4 定数のそれぞれ微角とする。



第1図 400 km 系統の補償時4定数



第2図 400 km 系統の送電端ならびに受電端の電力円線図

【註】 図中、単独の数字 0, 2, ..., 10 は補償位置を示す。例えば 0 は $m=0$, 6 は $m=0.6$ 等を表わす。3 連数字は最初から、補償度, r/x および相角度を示す。例えば 624 は $K=60\%$, $r/x=0.2$, $\theta=40^\circ$ を表わす。

III. 輸送有効電力

送電端ならびに受電端の電圧 (単位法) をそれぞれ E_s , E_r とし電圧相差角を θ とすると

$$\underline{E}_s = \underline{E}_r e^{j\theta} \quad (2)$$

であるが, 一般に $|\underline{E}_s| = E_s = 1.0 \sim 1.1$, $|\underline{E}_r| = E_r = 1.0$ の値であり, $\theta = 20^\circ \sim 40^\circ$ の値をとる。送受電両端における有効輸送電力は前報 (18) 式より

$$\left. \begin{aligned} P_s &= \frac{D}{B} E_s^2 \cos(\delta - \beta) - \frac{1}{B} E_s E_r \cos(\theta + \beta) \\ P_r &= -\frac{A}{B} E_r^2 \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{B} E_s E_r \cos(\theta - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

前の4定数を用いて直接上式より計算するか, または電力円線図の作図より有効電力を求め得る。

第2図は $l = 400 \text{ km}$ 送電線において E_s

$= 1.1$, $E_r = 1.0$ とする場合の送電端ならびに

受電端の電力円線図を, 種々の K , r/x , θ お

よび補償位置 m に対して画いたもので全特

性を一覽することができる。第3図は受電端

に設置したコンデンサの補償度 K を変化し

た場合の, 受電電力 P_r の変化を示すもの

である。これより r/x の影響がきわめて大きい

ことがわかる。これはもちろん補償と同時に

B の値が大幅に減少することによるが, ほかに

B の微角の変化が大 ($r/x=0$ ではつねに β

$= 90^\circ$ であるが, $r/x=0.4$, $K=60\%$ では約 $\beta=45^\circ$ である) であり, 加えるに A , D の値も増大

する (K , r/x に対する微角 α , δ の変化はほとんどない) ために, 本質的に送電力 P_s が減少し

てくるとともに, 同一相差角に対する線路損失が増大することに基因している。これは一方,

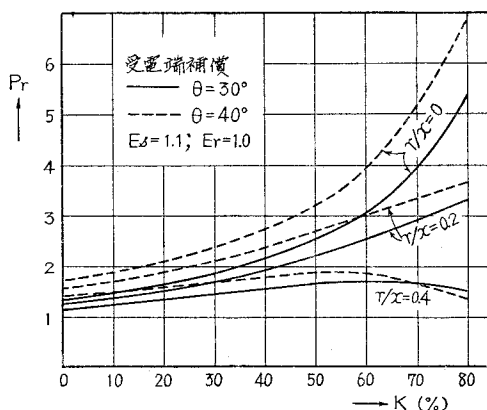
電力輸送量は相差角 θ の変化よりも送受電両端間の電圧差によつて, 本質的影響を受けるこ

ともによつている。

いま $\theta=30^\circ$ の場合について $r/x=0.0$ と 0.4 との場合を, $r/x=0.2$ の場合に比較してみる

と, つぎのごとき受電電力の増大および下降を示すことができる。%の数字は中央点補償にお

ける $r/x=0.2$ に対する偏差を示し, 括弧内の数字は受電端位置補償の場合を示す。



第3図 400 km 系統の補償度受電電力特性

補償度 (%)	$r/x=0.0$ にする時の増大 (%)	$r/x=0.4$ にする時の減少 (%)
$K=0$	5 (5)	10 (10)
$K=20$	7 (6)	15 (14)
$K=40$	12 (10)	23 (21)
$K=60$	27 (20)	40 (35)
$K=80$	106 (64)	67 (59)

また第3図よりわかるごとく、受電電力 P_r そのものの値については、 r/x が 0.2 附近を超えるときは K または θ の増大はさほどの電力増加をきたさない。これは第2図の受電電力円線図 W_r の示すとおり、 K を大にするときは円の半径は大となるが、中心点も斜左方向に移動し負の実軸方向に傾斜してくるため、 r/x が大きい場合は $\theta=30^\circ\sim 40^\circ$ 附近が極限電力となつてゐるからである。故に高度の補償をしても θ の増大はかえつて電力減少をまねく。 r/x の影響はこのように損失増加のみならず、 P_s および P_r をも本質的に減少させるから、この上電力増加を望む場合は送電電圧 E_s の上昇以外に途がない。高压送電線では $r/x=0.2$ 附近が多いが、これは送電線の電流容量とともに留意すべき事柄であろう。

つぎに第2図よりわかるごとく、 $r/x=0$ における最大輸送電力を与えるコンデンサの補償位置はつねに中央点であるが、 r/x の増加につれこの点は次第に受電端側に移動してくる。そして補償度が大きいほど甚しい。大凡にいつて $r/x=0.2$ の場合は $m=0.6\sim 0.8$ 位、 $r/x=0.4$ の場合は $m=1.0$ 位において P_s , P_r とともに最大の値をとつてゐる。可逆的輸送に対しては $m=0.5$ が最良である。20% 以下の補償では位置の影響はほとんど問題とならない。

IV. 調相容量について

進相電力を正にとるときの送電線の両端に発生する無効電力 Q_s , Q_r は前報 (18) 式より

$$\left. \begin{aligned} Q_s &= \frac{D}{B} E_s^2 \sin(\delta - \beta) + \frac{1}{B} E_s E_r \sin(\theta + \beta) \\ Q_r &= -\frac{A}{B} E_r^2 \sin(\alpha - \beta) + \frac{1}{B} E_s E_r \sin(\theta - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

したがつて受電端における調相機の調相容量 Q_c は負荷の力率角を φ_r とするとき

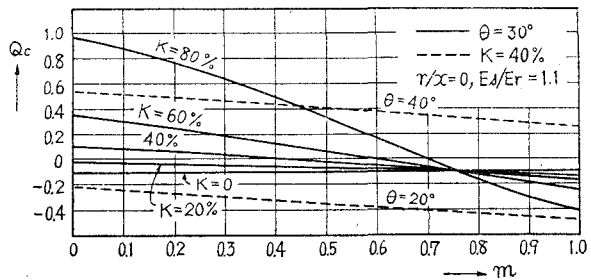
$$Q_c = P_r \tan \varphi_r + Q_r \quad (5)$$

で与えられる。

第4図に $\theta=20^\circ\sim 40^\circ$, $r/x=0$, $\cos \varphi_r=80\%$, $E_s/E_r=1.1$ に対する調相容量 Q_c を示す。図のごとく一般に送電端補償位置で Q_c は最大で、受電端位置で最小 (遅相に大) となる。 K , θ のある条件では、送電端進相、かつ受電端 100% あるいは若干の遅相または進相という最良条件

を満す補償位置があるが、一般にはこ
う巧く行かない。そして r/x が 0.2 以
上に増大すると、この値は同一位相角
における両端の無効電力をより進相に
増大させる。(第2図) そしてこれは
 K の大きいほど顕著である。

一般に受電端調相容量を減少させ
るにはまず r/x の小さいこと、つぎに
相差角 θ の小さいことが要求される。 $\theta=20^\circ\sim 40^\circ$ の範囲では r/x は 0.1 以下であれば調相容量
はほとんど不用である。この場合補償度 K は 2 次的に影響を及ぼすだけであるが、やはり K
の大きいほど調相容量も大となる。以上より調相容量からだけで補償位置 m を決定すべきでな
いことはもちろんで、個々の計算を行つて見なければならない。Johnson 氏等のごとく中央点
補償が調相容量の上から最良である³⁾とは速断できない。 $r/x \neq 0.2$ の場合はとくにそういえる。

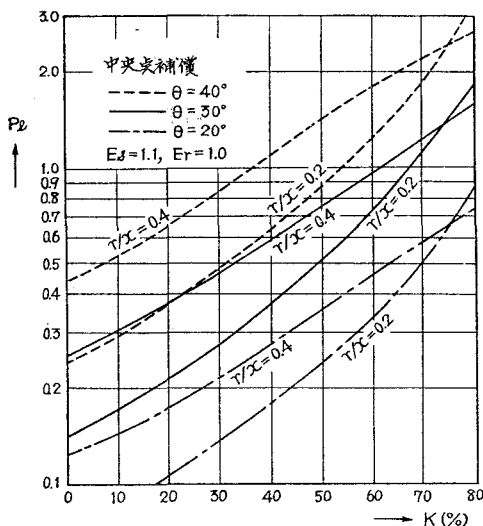


第4図 400 km 系統の調相容量の補償位置特性
(負荷力率 80% の場合)

V. 電力損失ならびに送電効率

送電率は P_r/P_s の比で、電力損失は $P_s - P_r$ で与えられる。

$$P_l = P_s - P_r = \frac{D}{B} E_s^2 \cos(\delta - \beta) + \frac{A}{B} E_r^2 \cos(\alpha - \beta) - \frac{2E_s E_r}{B} \cos \theta \cos \beta \quad (6)$$



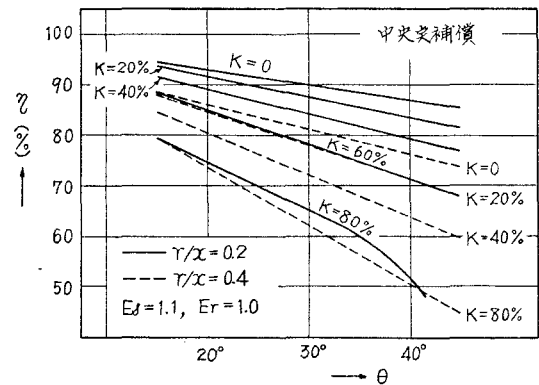
第5図 400 km 系統の補償度損失特性

第5, 6図に損失 P_l および能率 η を示す。
損失については、 r/x , θ および K によつて急増
することは図より明らかである。しかし 50%
以上の補償ではそれ以外に受電電力をも根本的
に減少させる。図の 75% 附近の K では、 r/x
の増加にかかわらず損失は減少しているが、こ
れは受電電力が極限値の位置にあつて低補償時
よりも大きく減少していることに基因する。補
償位置については研究の結果ほとんど影響ない
が、一般に $m > 0.5$ につれてつねに損失が大と
なっている。そして補償度、線路抵抗ならびに
相差角の大きいほどこの傾向は大となる。

能率については第6図のごとく、ほぼ相差

3) A. A. Johnson, J. E. Barkle & D. J. Povejsil: Fundamental Effects of Series Capacitors in High-Voltage Transmission Lines, T.A.I.E.E. 70, 526 (1951).

角に比例して減少する。 $K=80\%$ の場合では僅少の r/x でも能率は極端に低下するが、これは極限値の P_r に対し、 P_s は θ の影響大(第2図)なることによる。一般に能率は40%前後の補償では、 $\theta=40^\circ$ で $r/x=0.2$ 、 $\theta=20^\circ$ で $r/x=0.4$ の線路が実用上の限度である。安定度からみて実用上の限度とされている $\theta=30^\circ$ では、 $r/x=0.2$ の線路では50%補償まで、 $r/x=0.4$ の線路では10%補償までが限度であろう。 $\theta=20^\circ$ 以下の運転を除いては、50%以上の高補償は極度に能率を低下せしめるので宜しくない。



第6図 400 km 系統の送電能率特性

VI. 力率について

コンデンサ補償時の送電端ならびに受電端の力率は(3), (4)両式から

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_s &= \cos \tan^{-1} \frac{Q_s}{P_s} \\ \cos \varphi_r &= \cos \tan^{-1} \frac{Q_r}{P_r} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

となる。

第2図より直接つぎのことがいえる。送電端、受電端の力率は r/x の値が0, 0.2, 0.4と増加するにつれ、同一相差角ではより進相へと移行する。これは補償度 K の大きいほど甚しい。50%以下の補償では $r/x=0.1\sim0.2$ 附近で $\cos \varphi_s$ は最大となり、 $r/x=0.0\sim0.1$ 附近で $\cos \varphi_r$ は最大となる。そして図例のごとき長距離送電線では r/x が一定であれば、 $\cos \varphi_s$ はほぼ補償度および相差角に無関係に一定となる。

つぎに大凡の補償位置の影響を考えると、 $\cos \varphi_s$ については $r/x=0.0\sim0.1$ に対しては送電端位置が最大(遅相)、 $0.1\sim0.2$ に対しては送受両端の中間に、100%またはそれに近い最大点があり(K の大なるにつれ送電端から受電端の方へ移行する)、 $0.2\sim0.4$ に対しては受電端位置で最大(進相)となる。同様に受電端力率 $\cos \varphi_r$ については、 $r/x=0.0\sim0.1$ に対しては線路の中間点に最良の位置があり(この点は K と θ により異なる)、 $0.1\sim0.4$ に対しては受電端で進相に最大値をとる。

VII. 線間電圧分布について

まず送電端 $m=0$ と補償位置 m との中間、すなわちコンデンサ送電端側において、送電端

より pl (km) ($0 \leq p \leq m$) の点における線路の線間電圧 E_{sl} はつぎのごとくして求まる。 pl (km) 部分の線路に対する定数を A'_1, B'_1, C'_1, D'_1 とすれば

$$E_{sl} = D'_1 E_s - B'_1 I_s$$

しかるに送電端電流 I_s は、コンデンサ系統の4定数を用いて前報(13)式より

$$I_s = \frac{D E_s - E_r}{B}$$

であるから、これを上式に代入して

$$E_{sl} = \left[D'_1 - \frac{B'_1}{B} \right] E_s + \frac{B'_1}{B} E_r \quad (8)$$

いま簡単のために回路抵抗分を零とし、 $r/x=0$ の場合について考察すれば前報(9)式より

$$A'_1 = D'_1 = \cos pL, \quad B'_1 = C'_1 = j \sin pL$$

同じく前報(11)式より

$$B = j \left[\sin L - \frac{x_c}{2} \{ \cos L + \cos (2m-1)L \} \right]$$

$$D = \cos L + \frac{x_c}{2} \{ \sin L + \sin (2m-1)L \}$$

となるから、これ等より E_{sl} の絶対値はつぎのごとく計算される。

$$E_{sl} = \sqrt{\left[\cos pL - \frac{\cos L + 0.5 x_c \{ \sin L + \sin (2m-1)L \}}{\sin L - 0.5 x_c \{ \cos L + \cos (2m-1)L \}} \sin pL \right]^2}$$

$$\times E_s \cos \theta + \frac{E_r \sin pL}{\sin L - 0.5 x_c \{ \cos L + \cos (2m-1)L \}} \Big\}^{**}$$

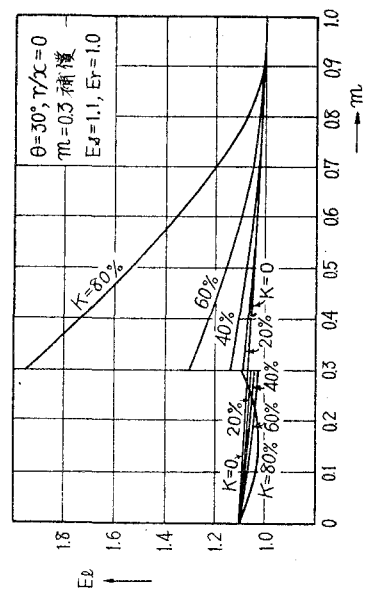
$$+ \left[\cos pL - \frac{\cos L + 0.5 x_c \{ \sin L + \sin (2m-1)L \}}{\sin L - 0.5 x_c \{ \cos L + \cos (2m-1)L \}} \sin pL \right]^2 E_s^2 \sin^2 \theta \quad (9)$$

同様に E_{rl} を、コンデンサ受電端側の任意の点 q ($m \leq q \leq 1$) の線間電圧とすれば、その点より受電端側の線路の定数を A'_2, B'_2, C'_2, D'_2 として

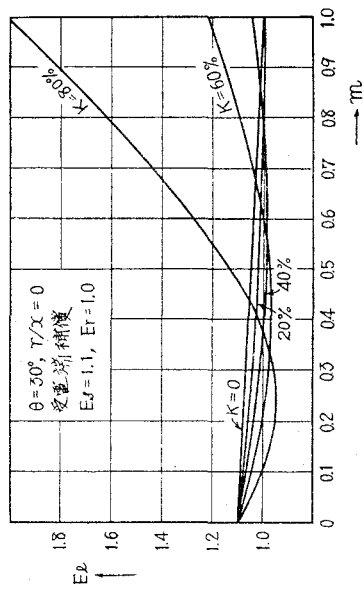
$$E_{rl} = \frac{B'_2}{B} E_s + \left[A'_2 - \frac{B'_2}{B} A \right] E_r \quad (10)$$

そして同様に(9)式のごとき絶対値 E_{rl} が算出できる。(8), (10)式では r/x に関して何等の省略を行なっていない。

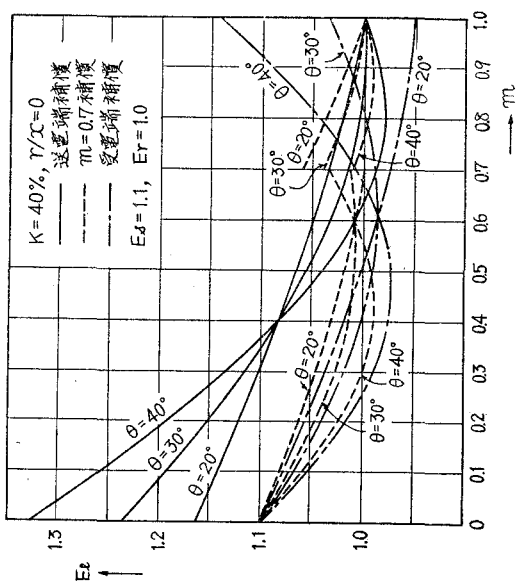
数値例として $l=400$ km, $r/x=0$, $E_s/E_r=1.1$ の場合の二、三の例を第7, 8, 9, 10図に示す。多くの数値例を行なつた結果つぎのごとき要約を得た。一般に線路の線間電圧は、コンデンサを送電端に位置したときのコンデンサ端子電圧の受電端側 ($m=q=0$) の値が最大で、かつ



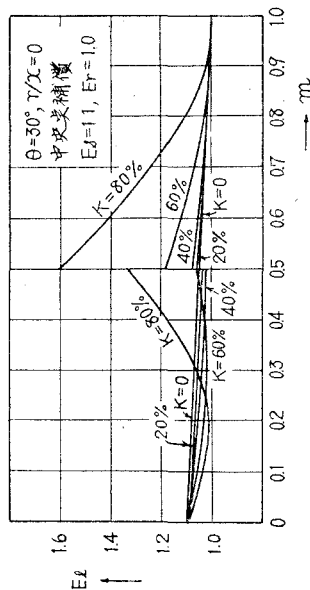
第9図 400 km 系統の線間電圧分布



第10図 400 km 系統の線間電圧分布



第7図 400 km 系統の線間電圧分布



第8図 400 km 系統の線間電圧分布

θ の大なるほど甚しい。上例で $K=40\%$, $\theta=20^\circ\sim 40^\circ$ の変化に対し $m=0$ の点で

$$\begin{aligned}\theta = 20^\circ & \quad E_{r10} = 1.16 \\ \theta = 30^\circ & \quad E_{r10} = 1.23 \\ \theta = 40^\circ & \quad E_{r10} = 1.33\end{aligned}$$

を示す。60% の補償では

$$\begin{aligned}\theta = 20^\circ & \quad E_{r10} = 1.28 \\ \theta = 30^\circ & \quad E_{r10} = 1.47 \\ \theta = 40^\circ & \quad E_{r10} = 1.70\end{aligned}$$

となる。図は同じく $m=0.7$ の場合をも示すが、このように山側と里側の両側で1個の極小点を作るのが普通である。しかし、 m 点ではコンデンサ両端子の線間電圧は、極小点とならずそれぞれ持ち上つている。この点の線間電圧値をなるべく小さくする m は一般に 0.5 より右方(里側)にあり、50% 以下の補償では 0.7~1.0 に存在する。(この値は送電端電圧の 1.10 を超えない) 上例の $K=40\%$ では $\theta=20^\circ$ は $m=1.0$, $\theta=30^\circ$ は 0.8 附近, $\theta=40^\circ$ は $m=0.7$ 附近に存在する。同じく $K=20\%$ では $\theta=20^\circ\sim 30^\circ$ は 1.0 附近, 40° では 0.7 附近に存在し、また 60% の補償では $\theta=20^\circ$ は 1.0, $\theta=30^\circ$ は 0.7, および $\theta=40^\circ$ は $m=0.6$ 附近にある。コンデンサ両端子間の電圧差も大体以上の適正点で最小となつているので、上記の補償位置が最小のコンデンサ容量を与える。

r/x の影響を考える時はさらに詳細な数値例より検討を要する。電気試験所の山田・堀米両氏⁴⁾は抵抗分を考慮した場合の詳細な理論より、最悪の条件を考える場合には中央点の補償位置において、線間電圧の上昇は最も小さくなると発表されている。

VIII. 最大送電電力 (定態安定度)

(3) 式の第2式で $\theta=\beta$ の相差角において受電電力は最大となり

$$P_{r\max} = \frac{E_s E_r}{B} - \frac{A}{B} E_r^2 \cos(a-\beta) \quad (11)$$

は明らかに、第2図の受電円線図における垂直方向の切線が定める有効電力値を示す。 $r/x=0$ のときは $\theta=90^\circ$ であるが、同図よりわかるごとく、このときはきわめて大きい値となる。しかし $r/x=0.2$ および 0.4 となるにつれ、中心点 $-A/B$ は左方負実線方向に傾斜してくるため、高補償時では 30° 附近の相差角で極限電力に達する。この点ではもはや θ の増加は効いてこなくなる。この附近では送電端電圧の上昇が、直接的の輸送電力を増大させる要素となることがわかる。

4) 山田・堀米：直列蓄電器補償線路の線間(相)電圧の上昇について。直列蓄電器専門委資料，直 209 (昭 30)。

補償点の位置については、50% 以下の低補償ではほとんど影響がない。なお r/x の値はコンデンサ電力系統において、受電電力とともに定態安定度を決定する上の、最も重要な因子であることに留意しておかねばならない。

IX. 結果および結言

サージ・インピーダンスを単位とする単位法によつて、任意の送電線定数を単に線長と r/x とのみをパラメーターとして表現する。この場合の電力はサージ・インピーダンス負荷が基準電力となり、受電端（または送電端）電圧が基準電圧となるため、特性の取り扱いが容易となる。本文において、数値例の 400 km 送電線で補償度、補償位置、 r/x および相差角をいろいろと変化した場合の定量的結果を述べてあるが、この結果はほぼ同じのほかの線長の送電線に演算できるものである。また線長が著しく異なるときは、本文に記したと全く同様な方法で解析できる。

以下長距離送電線の直列コンデンサ特性について定性的に概約すれば

- イ) 送電定数の中、 B 定数の絶対値および微角の値が r/x の影響を最も大きく受ける。
- ロ) このため受電電力に与える r/x の影響がきわめて大であり、 $r/x=0.4$ 附近では損失の増加以外に本質的に送電電力が減少してしまう。しかもこの場合相差角または補償度の増加はあまり期待できない。
- ハ) $r/x=0.2$ 附近の高圧送電線で、受電電力が最も大きくなる補償位置は $m=0.6\sim 0.8$ 位にある。
- ニ) 受電端調相容量についても r/x の大きさについで、相差角の大きさが第一の問題となる。このため $r/x=0.1$ 以下でありたい。
- ホ) 送電端力率は凡 r/x によつてのみ定まる。受電端力率については r/x が 0.1 以下において、最大となるるとき補償位置が存在する。
- ヘ) $20^\circ\sim 40^\circ$ の相差角では 50% 以上の高補償は極度に送電能率を低下させる。
- ト) 線路抵抗を省略した解析で、線間の電圧上昇が最も大となるのはコンデンサを送電端位置で補償した場合の、コンデンサ他端子側で生ずる。この値は補償度および相差角の大きさにつれ増大する。ただし、このことは $E_s/E_r=1.1$ としたためであるが、実際はこの比に近い。
- チ) 同様の解析で線間電圧の最小となる補償位置は、通常の電圧相差角 $20^\circ\sim 40^\circ$ においては $m=0.7\sim 1.0$ 位にあり、決して送電端電圧値を超えない。そして補償度および相差角が大きくなるほど、この点は中央に移行する。凡コンデンサ両端子間電圧差もこの点で最小となる傾向にある。
- リ) 長距離送電線におけるコンデンサ設置点は、普通の運転条件においては線間電圧、輸

送電力等より眺めて、 $m=0.6\sim 1.0$ の間が適当である。しかし K , θ , r/x および負荷力率等よりこの位置を吟味しなければならない。

本研究は昭和 29 年度および 30 年度の北海道科学研究費補助金の一部を使用して行なつたものであり、北大、浅見義弘博士の御援助に負うところ大であることを記し感謝の意を表わす。終わりに終始御指導を戴いた北大、小串孝治教授に深謝する。

(昭和 32 年 4 月 30 日受理)